

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennustekniikan koulutusohjelma / rakennustuotanto

Matti Havuaho

BETONIN KUTISTUMAKOMPENSAATIOAINEET

Opinnäytetyö 2012

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikan koulutusohjelma

HAVUAHO, MATTI

Betonin kutistumakompensaatioaineet

Opinnäytetyö

34 sivua + 2 liitesivua

Työnohjaaja

lehtori Sirpa Laakso

Toimeksiantaja

Lujabetoni Oy

Tammikuu 2012

Avainsanat

betoni, kutistuma, kutistumakompensaatioaineet

Tässä insinöörityössä tutkitaan kutistumakompensaatioaineiden vaikutusta betonin kutistumaan. Tarkoituksena on tutkia, millä tavoin kutistumakompensaatioaineet vaikuttavat eri kutistumatyyppeihin ja minkälaisella annostuksella lisäaineita tulisi käyttää betonivaluissa, jotta paras mahdollinen lopputulos saavutettaisiin.

Tutkimuksessa koekappaleet tehtiin Kymenlaakson ammattikorkeakoulun rakennuslaboratoriossa. Kappaleita säilytettiin olosuhdekaapissa ja kutistumaa tutkittiin SFS-käsikirjan 156 mukaisesti. Koekappaleista tutkittiin kutistuma mittatappimenetelmällä ja niiden lujuudenkehitystä seurattiin viikoittain koko tutkimusaika.

Tutkimuksen kesto on 1 – 2 vuotta, mutta tässä opinnäytetyössä betonikappaleiden kutistumaa tutkittiin ainoastaan valun jälkeiset 56 vuorokautta.

Tutkimuksen tuloksena voidaan päätellä kutistumakompensaatioaineiden pienentävän betonin eri kutistumamuotoja. Vaikutukset eivät olleet niin suuret, kuin muut vastaavat tutkimukset olisivat antaneet ymmärtää. Kutistumakompensaatioaineiden haittapuolena voidaan pitää niiden korkeaa hintaa.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Construction Engineering

HAVUAHO, MATTI

Concrete SRAs

Bachelor's Thesis

34 pages + 2 pages of appendices

Supervisor

Sirpa Laakso, Lecturer

Commissioned by

Lujatalo Oy

January 2012

Keywords

concrete, shrinkage, SRA

This thesis examines the impact of SRAs in concrete shrinkage. The purpose was to explore ways in which SRAs affect various shrinkage types and find out which dosage of additives should be used for concrete casting in order to achieve the best possible result.

Concrete test specimens were made in University of Applied Sciences in construction laboratory of Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. The test specimens were kept in circumstance storage and the shrinkage was executed by using the SFS – 156 manual. The samples were examined by using the benchmark measurement method and the loss- of- strength development was monitored throughout the study period.

The duration of the study varies from one to two years. This study explores the shrinkage during the first 56 days only.

As a result of this study, it can be concluded that SRAs have a reducing effect on the various forms of concrete shrinkage. The effects were not as good as other similar studies have let us believe. A disadvantage if SRAs is their high price.

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	6
1.1 Työn tausta	6
1.2 Työn tavoitteet ja rajausta	6
2 BETONIN KUTISTUMA.....	6
2.1 Varhaisvaiheen kutistuma	7
2.1.1 Plastinen kutistuma.....	8
2.1.2 Plastinen painuma.....	8
2.1.3 Autogeeninen kutistuma	9
2.2 Myöhäisen vaiheen kutistuma	9
2.2.1 Lämpömuodonmuutos	10
2.2.2 Kuivumiskutistuminen.....	10
2.3 Viruma.....	11
2.4 Kutistumakompensaatioaineet.....	11
2.5 Kutistuman hallinta	13
2.5.1 Kuidut	13
2.5.2 Paisutin-lisäaine	13
2.6 Kutistuman laskentakaavat.....	14
2.6.1 Suomen rakentamismääräyskokoelma.....	14
2.6.2 Eurokoodi	16
3 TUTKIMUS	17
3.1 Tutkimussuunnitelma	18
3.2 Aikataulu	18
3.3 Koekappaleet	18
3.4 Olosuhteet.....	20
3.5 Käytetyt välineet.....	20
3.6 Testausmenetelmät	22
3.6.1 Naulalevykoe	22
3.6.2 Mittatappimenetelmä	23
5 TULOKSET JA NIIDEN ANALYSOINTI.....	24
6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA PÄÄTELMÄT	31
LÄHTEET.....	33

LIITTEET

Liite 1. Lämpöloggerin antamat koekappaleiden lämpötilat

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Tässä insinöörityössä on tutkittu kutistumakompensaatioaineiden vaikutusta betonin kutistumaan. Toimeksiantajana ovat olleet Lujabetoni Oy, joka on tilannut työn, sekä Oy Sika Finland Ab, jolta kutistumakompensaatioaineet ovat tulleet. Koekappaleet on itse valettu ja niiden kutistumaa on tutkittu SFS-käsikirja 156:n mukaisesti. Tutkimuksen kesto olosuhteiden mukaan on 1 – 2 vuotta.

Työn alussa perehdytään tarkastelemaan betonin kutistumaa teorian näkökulmasta. Materiaalina käytetään alan kirjallisuutta ja artikkeleita, joista poimitaan työn kannalta merkittävimmät asiakokonaisuudet. Teoriaosuuden jälkeen keskitytään tutkimuksen kulkuun ja sen sisältöön. Insinöörityön loppuosassa on tarkasteltu tuloksia ja niiden pohjalta on tehty johtopäätöksiä kutistumakompensaatioaineiden tarpeellisuudesta.

1.2 Työn tavoitteet ja rajaus

Opinnäytetyön tavoitteena on esitellä yleisesti betonin kutistumaa ja siihen liittyviä tekijöitä sekä tutkia kutistumakompensaatioaineiden käyttäytymistä toimeksiantajayrityksen haluamista näkökulmista. Työ on tehty Kymenlaakson ammattikorkeakoulun rakennuslaboratoriossa, jonka laitteistot on kalibroitu ennen työn aloittamista. Työssä on tutkittu kutistumakompensaatioaineiden vaikutusta koekappaleisiin 56 päivän ajan.

Työssäni olen vertaillut kahdeksan eri betonireseptin vaikutusta betonin lopputulokseen. Jokaista kahdeksaa reseptiä kohden on tehty kaksi sarjaa koekappaleita. Muuttujina ovat toimineet vesi-sementtisuhde, lisäaineet sekä puristuslujuus. Valettuja koekappaleita on yhteensä noin 100, joita on säilytetty BY 22 -ohjeiden mukaisesti.

2 BETONIN KUTISTUMA

Kutistuma on betonin luonnollinen ominaisuus, joka on seurausta betonin tilavuuden pienenemisestä. Kutistuman syynä pidetään betonin kuivumista ja sementin hydrataatiota. Betonin kutistuminen aiheuttaa tilavuuden pientymisen vuoksi vetojännityksen, joka johtaa hallitsemattomana betonipinnan halkeiluun. Halkeilun riskit ja suu-

ruus riippuvat kutistuman suuruudesta ja betonin vetolujuuden kehittymisnopeudesta. Betonilla on useita eri kutistumatyyppejä, minkä takia tulee aina ajatella kokonaisuutta, kun yritetään estää betonin halkeilua. Käytännössä betonin kutistumat jaetaan kahteen tyyppiin varhaisvaiheen kutistumaan sekä myöhäisvaiheen kutistumaan.

(Anttila, 2010, 1.)

Betonin kovettumiskutistumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat betonin koostumus sekä ympäröivän ilman suhteellinen kosteus. Kutistuminen on nopeampaa kuivassa ilmassa. Kutistuminen tapahtuu sementtiliimassa, joten kutistuma on sitä suurempi, mitä enemmän sementtiliimaa on käytetty, ja sitä pienempi, mitä enemmän kiviainesta on käytetty. (Siikanen, 2010, 149.)

Kutistumalle herkimpiä rakenteita ovat ne rakenteet, joissa on suuria pinta-aloja, kuten lattiapinnat. Myös massiiviset betonirakenteet ja paksuseinäiset korkeat rakenteet ovat alttiimpia kutistumalle. Edellä mainituissa rakenteissa olosuhteiden hallinta on usein hankalampaa ja kutistuman vaikutukset suurempia. (Anttila, 2010, 4.)

2.1 Varhaisvaiheen kutistuma

Varhaisvaiheen kutistuma alkaa valuhetkellä ja jatkuu ensimmäisen vuorokauden loppuun. Se on suuruudeltaan jopa kymmenkertainen myöhäisvaiheen kutistumaan verrattuna. Varhaisvaiheen kutistuma on kovimmillaan ennen betonin sitoutumista, ja tätä vaihetta kutsutaan myös plastiseksi kutistumaksi. Varhaisvaiheen kutistuma vaihtelee 0 – 7mm/m, ja se riippuu veden haihtumisnopeudesta betonin pinnalta ja betonin sitoutumisajasta. Kutistuma aiheuttaa yleisesti ongelmia kaikissa rakenteissa, joissa haihtuu vettä varhaisvaiheessa. Varhaisvaiheen kutistumaa voidaan pienentää tai estää merkittävästi heti valun jälkeen aloitettavalla oikealla jälkihoidolla, eli estämällä liian nopea veden haihtuminen betonipinnalta. (Leivo, Holt, Kronlöf, Söderlund, & Vuorinen, 2009, 4.)

2.1.1 Plastinen kutistuma

Plastinen kutistuma on betonin kutistumaa, joka tapahtuu vaakatasossa ja johtuu veden haihtumisesta muutaman tunnin sisällä valusta. Plastinen kutistuma on aina suurta, joten sen hallitsemiseen tulee panostaa. Plastinen kutistuma tapahtuu ensimmäisen vuorokauden aikana, betonin ollessa vielä tuoreessa vaiheessa. Kutistuma on yleensä syynä halkeamiin, ja ne muodostuvat, kun betonin pinnalta haihtuva vesi ei korvaudu betonipinnan alta tulevalle vedelle. Betonin sitoutuessa betonipinta sulkeutuu ja veden haihtuminen loppuu. (Anttila, 2010, 2.)

Plastinen kutistuma on erityinen ongelma betoneilla, joilla on alhainen vesi-sementtisuhte tai jotka ovat voimakkaasti notkistettuja työstettävyyden helpottamiseksi. Mitä enemmän betonissa on käytetty sementtiä tai mitä pienempi vesi-sementtisuhte on, sitä suurempi on plastisen kutistuman vaikutus. (Hietala, 2011, 21.)

Plastiselle kutistumalle suurin riski on olosuhteissa, joissa

- on voimakas tuuli ja kuuma sää
- on voimakas tuuli ja kylmä sää
- betonia on reilusti notkistettu tai sillä on huono vesi-sementtisuhte.

(Anttila, 2010, 2.)

Käytännössä plastista kutistumaa voidaan vähentää merkittävästi tai jopa estää työmaatekniikoiden avulla. Veden haihtumista betonipinnalta on vähennettävä tai estettävä suojaamalla pinta vettä läpäisemättömällä materiaalilla heti valun jälkeen. Tuuli- ja aurinkosuojat on otettava käyttöön sään niin vaatiessa ja varsinaista jälkihoitoa on jatkettava vähintään viisi vuorokautta. Kylmissä olosuhteissa on käytettävä nopeasti sitoutuvia betonilaatuja ja sitoutumista hidastavien lisäaineiden käyttöä vältettävä.

(Leivo, ym. 2000, 3.)

2.1.2 Plastinen painuma

Plastisella painumalla tarkoitetaan sitä painumaa, joka syntyy veden noustessa betonin pintaa ja samalla betonimassan painuessa kohti pohjaa. Painuma tapahtuu noin kolmen

tunnin sisällä betonivalusta. Plastinen painuma voi olla yhden prosentin luokkaa ja siitä johtuvat halkeamat jopa millimetrin levyisiä, mutta ne sulkeutuvat yleensä nopeasti mentäessä syvemmälle rakenteeseen. Plastisia halkeamia syntyy, kun betoni ei pääse painumaan kaikkialla vapaasti. Yleisesti nämä halkeamat syntyvät betonilaatan yläpinnan raudoitusten kohdalla. (Betoniset säiliörakenteet, 2012.)

Sementin sitoutumisajan piteneminen suurentaa plastista painumaa, koska veden erottuminen lisääntyy. Mitä pidempään betoni on plastisessa tilassa, sitä enemmän jää aikaa veden erottumiselle. Myös betonin vesimäärä on merkittävä tekijä plastisen kutistuman synnyssä, koska vesimäärän kasvattaminen lisää erottuvan veden määrää. (BY201, 72.)

Plastista painumaa pyritään estämään oikeilla massavalinnoilla ja jälkitärytyksellä. Muita keinoja plastisen painuman pienentämiseen on käyttää kohtuullisen notkeustason betoneita, oikeaa rakeisuuskäyrää kiviaineksen valinnassa ja sopivaa vesimäärää. (Anttila, 2010, 2.)

2.1.3 Autogeeninen kutistuma

Autogeenisellä kutistumalla tarkoitetaan sementin hydrataation aiheuttamaa kutistumaa ja sitä kutsutaan myös hydrataatio- tai kemialliseksi kutistumaksi. Kun vesi ja sementti reagoivat keskenään, syntyy sementtikiveä, ja sen tilavuusosuus on pienempi kuin alkuperäinen veden ja sementin yhteenlaskettu tilavuus, tämän vuoksi betoni kuivuu sisään päin. (Anttila, 2010, 2.)

Koska autogeeninen kutistuma johtuu sementin hydrataatiosta, eikä sitä pystytä kokonaan poistamaan. Autogeenista kutistumaa voidaan kuitenkin vähentää pitämällä veden ja sementin määrä kohtuullisena ja kiviaineksen määrä suurena. Autogeenisen kutistuman suuruus on 0 – 0.6 ‰. (Hietala, 2011, 25.)

2.2 Myöhäisen vaiheen kutistuma

Myöhäisvaiheen kutistuma eli pitkäaikaiskutistuma jatkuu yhdestä vuorokaudesta jopa useisiin vuosiin. Kutistuman alkamisajankohtaa voidaan siirtää myöhemmäksi oikeal-

la jälkihoidolla, joka saattaa pienentää halkeamia, taipumia ja käyristymiä. Pitkäaikaiskutistuma tapahtuu 80-prosenttisesti muutaman kuukauden aikana ja on sitä hitaampi ja pienempi, mitä massiivisempi betonirakenne on kyseessä. Kutistuman suuruus on tavallisesti 0,4 – 0,6 mm/m, joten kutistuma aiheuttaa ongelmia vain osalle rakenteita. Ongelmia voidaan vähentää liikuntasaumoilla, kutistumaraudoituksilla ja muilla suunnitteluratkaisuilla. Myöhäisvaiheen kutistuma on yleensä se kutistamatyyppejä, jota käsitellään normeissa ja alan kirjallisuudessa. Myöhäisvaiheen kutistuma tulee ottaa huomioon suunnitellessa rakenteita. (BL2000)

2.2.1 Lämpömuodonmuutos

Sementin sitoutuessa betonimassa tuottaa lämpöä, koska massiivisissa betonirakenteissa on käytetty enemmän sementtiä, rakenne lämpenee enemmän ja nopeammin. Kun lämmön tuottaminen loppuu ja betoni alkaa jäähtyä nopeammin ulkopinnoilta syntyy kutistuma, jossa betonin tilavuus pienenee ensin rakenteen pinnoilta. Massiivisten rakenteiden ydin jäähtyy hitaammin verrattuna betonin ulkopintoihin, ja tämä kutistuma voi olla suuri ja aiheuttaa halkeamia rakenteille. (Anttila, 2010, 3.)

Lämpömuodonmuutoksen riskiä voidaan pienentää, kun käytetään alhaislämpösementtejä tai sementin ja kuonan sekoitusta. Betonin lämpötilan laskeminen tehtaalla (+10 °C) riittää usein estämään ongelmat. Tarvittaessa rakenteet suojataan eristeillä, jotta lämpötilan vaihtelut ytimessä ja pinnalla ovat tasaisempia ja halkeilua tapahtuu huomattavasti vähemmän. (Anttila, 2010, 3.)

2.2.2 Kuivumiskutistuminen

Kuivumiskutistuma on yleisin tunnettu kuivumistyyppi, ja se johtuu betonissa olevan veden haihtumisesta. Työstettävyyden parantamiseksi betoniin lisättävä vesi ei kokonaan reagoi sementin kanssa, vaan osa vedestä jää vapaasti haihtumaan pois rakenteesta. Kuivumiskutistuma on suuruusluokkaa 0,5 – 1,3 ‰, ja sen merkitys on suuri. (Anttila, 2010, 3.)

Kuivumiskutistuman suuruuteen vaikuttaa betonin koostumus ja ympäristöolosuhteet. Lisättäessä vettä ja sementtiliimaa betonimassaan kutistuma suurenee. Myös sementin korvaaminen masuunikuonalla lisää kutistumaa.

Betonin kutistumaa lisää:

- betonin vesimäärän lisääminen
- hienoainesmäärän eli sementin ja fillerin määrän lisääminen
- betonin huokostaminen
- ympäristön kuivuus
- kevytsoran käyttö
- joidenkin notkistimien käyttö.

(BY201, 90.)

2.3 Viruma

Viruma on ajasta riippuva muodonmuutos, joka syntyy, kun kappaletta kuormitetaan. Puristuksessa betonin geelihiukkasissa oleva vesi poistuu hiukkasista paineen vaikutuksesta ja samanaikaisesti sementtiliima tiivistyy. Sementtiliiman tiivistyminen selittää sen, että betoni ei palaudu muodonmuutoksesta, vaikka vesi imeytyy takaisin geelihiukkasiin. (BY201, 123.)

Viruma on muodonmuutos, joka tapahtuu kaikkien jännitystyyppien yhteydessä, kuten puristus-, veto-, taivutus-, leikkaus- ja vääntöjännityksessä. Myös kappaleen poikki-leikkaus vaikuttaa merkittävästi viruman syntyyn; mitä suurempi kappale, sitä hitaampi viruman vaikutus. Kokonaismuodonmuutokseen virumalla on suuri vaikutus, ja suunnittelijan on otettava viruman vaikutus huomioon normien mukaisesti.

(BY201, 123.)

2.4 Kutistumakompensaatioaineet

Kutistumakompensaatioaineet eli SRA-aineet ovat yleensä glykoli- ja propeeniglykolipohjaisia lisäaineita, joiden toiminta molekyylitasolla perustuu vettä suosivaan pään ja vettä hylkivään häntään. Myös vahapohjaisia lisäaineita käytetään, mutta ne eivät pienennä kutistumaa ja siitä johtuvaa halkeilua yhtä tehokkaasti.

(Hietala, 2011, 54.)

SRA-aineita on käytetty ja tutkittu USA:ssa ja Japanissa 1980-luvulta lähtien. Aineet saivat suuren suosion USA:n ja Aasian markkinoilla, koska niillä on kyky vähentää kutistumaa ja halkeilua. Kutistumakompensaatioaineet ovat kuitenkin melko uusi lisäaineryhmä Suomessa, ja niitä alettiinkin käyttää vasta 2000-luvulla. Käytön rajoittuneisuus selittyy aineen korkealla hinnalla ja vähäisellä tutkimuksella. (Hietala, 2011, 54.)

SRA-aineiden toiminta perustuu betonin kapillaarihuokosissa olevan veden pintajännityksen pienentämiseen, mikä vähentää betonissa syntyvää kapillaaripainetta. Ilman lisäainetta kapillaaripaine vetää betonissa olevia huokoisia kasaan, mikä johtaa tilavuuden pienenemiseen eli kutistumaan. SRA-aineiden vaikutus veden pintajännityksen pienenemiseen on suoraan verrannollinen kapillaaripaineen pienenemiseen. (Hietala, 2011, 55.)

Lisäaineita lisättäessä betonin pintajännitys pienenee heti. Kun SRA-aineet ovat saavuttaneet kriittisen konsentraation betonissa, ei pintajännitys enää laske. Normaali annostus aineille on 0,5 – 3 % sementin painosta, mutta tehokkain vaikutus saadaan 1,5 – 2 %:n annoksilla, jolloin kutistumaa pienentävä vaikutus on selvä ja vaikutukset muihin betonin ominaisuuksiin on vähäisiä. (Hietala, 2011, 55.)

SRA-aineet vaikuttavat nopeuteen, jolla betonista haihtuu vesi, ei niinkään betonista haihtuvan veden kokonaismäärään. Vaikka betoneista haihtuu sama määrä vettä, betonit, joihin on lisätty SRA-aineita kutistuvat, selvästi vähemmän, kun ilmankosteus on alle 70 % eli käytännössä aina. (Hietala, 2011, 56.)

Lisäaineiden vaikutus betonin kutistumaan ilmenee nuorella iällä. Kutistuman pieneneminen 28 vuorokauden iässä on suurempaa kuin 56 vuorokauden iässä. Kutistumakompensaatioaineet aiheuttavat pientä tilavuuden suurenemista heti kovettumisen jälkeen, mikä parantaa aineiden vaikutusta. Tämä tarkoittaa sitä, että jälkihoito tehtävä kosteassa ja hyvin, mikä pienentää lopullista kutistumaa. (Hietala, 2011, 56.)

Kutistumakompensaatioaineet voidaan lisätä betonimassaan joko sekoitusvaiheessa tai valmiin betonin pinnalle levitettynä. Tässä opinnäytetyössä SRA-aineet lisättiin sekoitusvaiheessa veden jälkeen. Yleensä aineita lisätään korvaamaan vettä noin 2 – 5 %:n annostuksella veden määrästä. SRA-aineet suurentavat betonin notkeutta ja näin ollen lisäävät työstettävyyttä, joten niillä voidaan korvata vettä ja samalla vesi-sementtisuhte pysyy vakiona. (Hietala, 2011, 56.)

Kutistumakompensaatioaineet vähentävät kuivumiskutistuman lisäksi myös auto-geenista ja plastista kutistumaa. Niiden käyttö pienentää myös halkeamien mahdollisuutta ja halkeamien kokoa ja etäisyyttä toisistaan. Lisäaineet parantavat myös raudoituksen korroosionkestoa, ja estävät betonin lohkeilua ja rakenteen heikkenemistä tiiveytenstä ansiosta. Näin rakenteelle saadaan pidempi käyttöikä ja korjauksilta vältytään. (Hietala, 2011, 57.)

2.5 Kutistuman hallinta

Erikoismenetelmillä voidaan vaikuttaa kutistuman suuruuteen. Normaaleta erikoismenetelmiä, joita käytetään kutistuman hallintaan, on kuitujen tai paisutin lisäaineen lisääminen betonimassoihin. (Anttila, 2010, 5.)

2.5.1 Kuidut

Kuitujen lisäämisellä pyritään estämään plastisen- ja kuivumiskutistuman syntyä. Etenkin pienet muovikuidut auttavat vetojännityksen jakamisessa ja estävät plastisen vaiheen halkeilua. Teräskuituja lisätään massaan vähemmän, ja niiden vaikutus plastisen kutistuman estämisessä on pienempi. Kuivumiskutistuman suhteen teräskuitujen toimivuus on hyvä. Kuitujen lisääminen nostaa betonimassan hintaa ja jäykistävää betonia, minkä takia massoissa käytetään yleensä notkistimia. (Anttila, 2010, 5.)

2.5.2 Paisutin-lisäaine

Paisutin lisäaineen käyttäminen aiheuttaa betonin tilavuuden hetkellisen suurenemisen, lujuuden suuretessa. Tämä aiheuttaa betoniin puristusjännityksiä, jotka kompen-

soivat kuivumiskutistuman aiheuttamia vetojännityksiä. Tämän ansiosta betoni halkeilee vähemmän ja lopullinen kuivumiskutistuma on pienempi. (Hietala, 2011, 59 – 60.)

2.6 Kutistuman laskentakaavat

Betonin kuivumiskutistumalle on useita eri laskentakaavoja, jotka huomioivat hyvin vaihtelevasti eri tekijöitä, kuten betoninlaatua ja ympäristöolosuhteita. Tarkkaa tietoa ei ole siitä, mikä laskentakaava antaa luotettavaa tietoa. Tässä opinnäytetyössä tutustun Suomen rakentamismääräyskokoelman ja eurokoodin laskentakaavoihin.

2.6.1 Suomen rakentamismääräyskokoelma

Suomen rakentamismääräyskokoelmassa on esitetty laskentakaava, jolla voidaan laskea tavanomaista kiviainesta sisältävän betonin loppukutistuma. Laskentakaavaa voidaan käyttää, kun kiviaineksen ylänimellisarvo on vähintään 12 mm. Rakentamismääräyskokoelma esittelee myös toisen laskentakaavan kuivumiskutistumalle, kun betonin koostumus tiedetään.

$$\varepsilon_{cs} = k_{sh} \cdot \varepsilon_{cs0},$$

missä ε_{cs0} on betonin loppukutistuman perusarvo, arvot taulukosta 1.
 k_{sh} on rakenteen muunnetusta paksuudesta h_e riippuva kerroin, arvot taulukosta 2. (1)

Puristetuissa kappaleissa raudoituksen kutistumaa pienentävä vaikutus voidaan ottaa huomioon kertomalla ε_{cs0} arvolla $(1 - 10)$ ja taivutetuissa kappaleissa arvolla $(1 - 0,6 \cdot \rho' \div \rho)$.

Taulukko 1. Loppukutistuman perusarvo

Rakenteen ympäris- töolosuhteet	Suhteellinen kosteus [%]	Loppukutistuman perusar- vo ϵ_{cs0} [‰]
Vesi	100	0
Hyvin kostea ilma	90	0,2
Ulkoilma	70	0,4
Kuiva ilma	40	0,6

Taulukko 2. Kerroin k_{sh}

h_e (mm)	k_{sh}
≤ 50	1,20
100	1,00
200	0,80
300	0,65
≥ 500	0,50

Kutistuma tietyllä aikavälillä $t_i - t_n$ voidaan laskea kaavalla 2.

$$(k_{sn} - k_{si}) \epsilon_{cs},$$

missä k_{sn} ja k_{si} kertoimet hetkellä n ja i taulukosta 3. (2)

Taulukko 3. Kertoimet k_s ja k_c

Aika	k_s	k_c
1 d	0,10	0,2
2 d	0,15	0,25
28 d	0,4	
0,5 a	0,7	
1 a	0,85	
≥ 5 a	1,0	

Jos betonin koostumus tunnetaan, loppukutistuma voidaan laskea kaavalla 3.

$$\varepsilon_{cs} = k_{cem} k_{sh} (P \div 170 - 0,7) \varepsilon_{cs0},$$

missä $k_{cem} = 1,0$ sementtilaadusta riippuen CEM I ja CEM II ja 1,2 ma-
suunikuonaseментille (kuonaa 70 %), väliarvot voidaan interpoloida.
 P = pastamäärä, sisältää veden, sementin, kiviainekset, ilman ja lisäai-
neet. (BY50, 2004, 25 – 26.) (3)

2.6.2 Eurokoodi

Eurokoodin laskentakaava koostuu kahdesta osasta, kuivumiskutistumasta ja sisäisestä kutistumasta, eli autogeenisestä kutistumasta. Kokonaiskutistuman arvot saadaan kaavasta 4.

$$\varepsilon_{cd,\infty} = k_h \cdot \varepsilon_{cd,0}$$

missä k_h = paksuudesta h_0 riippuva kerroin, taulukosta 4.
 $\varepsilon_{cd,0}$ = betonin lopullisen kutistuman perusarvo, kaavasta 5. (Eurokoodi s.37) (4)

Taulukko 4. k_h -arvot

h_0	k_h
100	1,0
200	0,85
300	0,75
≥ 500	0,70

Betonin lopullista kutistumaa voidaan arvioida kaavalla 5.

$$\varepsilon_{cd,0} = 0,85[(220 + 110 \cdot \alpha_{ds1}) \cdot \exp(-\alpha_{ds2} \cdot f_{cm} \div f_{cmo})] \cdot 10^{-6} \cdot \beta_{RH},$$

missä α_{ds1} ja α_{ds2} = sementin tyypistä riippuva kerroin, arvo taulukosta 5.
 f_{cm} = keskimääräinen puristuslujuus (MPa)
 $f_{cmo} = 10$ MPa

β_{RH} = suhteellisesta kosteudesta riippuva tekijä, kaavasta 6. (5)

$$\beta_{RH} = 1,55[1-(RH \div RH_0)^3],$$

missä RH = suhteellinen kosteus

RH_0 = kosteus 100%. (6)

Taulukko 5. Sementtityyppien kertoimet

Sementtityyppi	α_{ds1}	α_{ds2}
S	3	0,13
N	4	0,12
R	6	0,11

Betonin kutistuman laskeminen tietyllä hetkellä lasketaan kaavalla 7.

$$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) \cdot k_h \cdot \varepsilon_{cd,0},$$

missä $\beta_{ds}(t, t_s) = t - t_s \div (t - t_s) + 0,04\sqrt{h_0}^3$

t = betonirakenteen ikä tarkasteluhetkellä

t_s = betonin ikä kuivumiskutistuman alkamisesta. Tavallisesti hetki, jolloin jälkihoito on päättynyt.

(SFS-EN 1991-1-1, 33 – 34 ja 200.) (7)

3 TUTKIMUS

Opinnäytetyössä oli tarkoituksena tutkia tärkeimpiä syitä betonin kutistumaan. Syitä ovat mm. sementtilaadun vaikutus, betonin vesi- sementtisuhde, betonin lujuus, tehonotkistimien käyttö sekä kutistumaa pienentävien lisäaineiden käyttö.

Lisäaineiden käytöstä on olemassa useita ristiriitaisia tutkimustuloksia, joissa osassa väitetään lisäaineiden lisäävän betonin kutistumaa, kun taas osassa on havaittu lisäaineiden pienentävän betonin lopullista kutistumaa. Tavoitteena kutistumamittauksissa oli selvittää erityisesti kutistumakompensaatioaineiden vaikutusta betonin lopulliseen kutistumaan.

Koekappaleiden valaminen ja mittausten suorittaminen oli aikaa vievää, joten jokaiselle kappaleelle oli tehtävä oma mittaussuunnitelma, jotta aikataulussa pysyttiin.

Koekappaleita valettiin noin 100 kappaletta, jotta mittaukset olisivat riittävän kattavat ja tuloksia voitaisiin pitää luotettavina ja käyttökelpoisina myös tilaajayrityksen kannalta.

3.1 Tutkimussuunnitelma

Betonin kutistumatutkimus on tehty Lujabetoni Oy:n tilauksesta Kymenlaakson ammattikorkeakoulun rakennuslaboratoriossa. Tutkimuksessa koekappaleita on säilytetty By 22-ohjeiden mukaisesti, jotta tutkimus olisi vertailukelpoinen.

Koekappaleet valoi Lujabetoni Oy ja Oy Sika Finland Ab. Kymenlaakson ammattikorkeakoulun rakennuslaboratoriossa 11.1.2012 – 12.1.2012. Viimeisten koekappaleiden tutkiminen loppui kappaleiden ollessa 56 vuorokauden ikäisiä.

3.2 Aikataulu

Koekappalaille on suunniteltu oma tutkimusaikataulu, josta selviää kappaleille tehtävät testit ja ajankohdat. Tutkimuksen kesto on 1 – 2 vuotta, mutta tässä tutkimuksessa tarkastellaan koekappaleita ensimmäisten 56 päivän aikana. Kappaleista otetaan kutistumatulokset ja lujuudenkehitys 1, 2, 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 ja 56 vuorokauden kohdalla.

3.3 Koekappaleet

Koekappaleet valmistettiin Kymenlaakson ammattikorkeakoulun rakennuslaboratoriossa Lujabetoni Oy:n reseptillä. Betonimassoihin lisättävät kutistumakompensaatioaineet tulivat Oy Sika Finland Ab:lta. Kustakin sementtinäytteestä valmistettiin kaksi massaa, ja toiseen massoista lisättiin kutistumakompensaatioainetta. Tässä työssä massat on merkitty 1A, 1B, 2A, 2B, 3A, 3B, 4A ja 4B selkeyttämisen takia. Massat 2A, 2B, 4A ja 4B ovat HT-betonia, jonka tarkkaa reseptiä ei saa julkaista, joten reseptit ovat suuntaa-antavia. Tarkemmat reseptitiedot voi katsoa taulukosta 6.

Taulukko 6. Betonireseptit.

	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Sementti (kg)	300	300	350 - 390	350 - 390	298	308	350 - 390	350 - 390
Vesi (kg)	207	203	180-200	180-200	206	193	180-200	180-200
Filleri (kg)	212	213	Kiviainesta yhteensä	Kiviainesta yhteensä	212	215	Kiviainesta yhteensä	Kiviainesta yhteensä
0-6 mm (kg)	991	993	1700 - 1750	1700 - 1750	991	1001	1700 - 1750	1700 - 1750
6-12 mm (kg)	556	567			556	572		
Sikament EVO(%)	0,6	0,6	1,2	1,2	0,6	0,6	1 – 2	1 – 2
Sika Control 50 (%)	0,0	1,0	0,0	1,0	0,5	1,5	1,5	2,0

Kappaleita valmistettaessa mitattiin kuiva-ainekset, vesi ja lisäaineet valmiiksi. Betonimyllyyn lisättiin kiviainekset ja myllyn annettiin pyöriä 15 sekuntia. Tämän jälkeen lisättiin sementti ja myllyä pyöritettiin 30 sekuntia, jonka jälkeen lisättiin vesi ja annettiin pyöriä 30 sekuntia. Viimeisenä laitettiin lisäaineet ja myllyn annettiin pyöriä vielä kaksi minuuttia. Jokainen betonimassa tehtiin samalla tavalla, jotta tulokset olisivat vertailukelpoisia.

Koekappaleista mitattiin heti valun jälkeen painuma tai leviäminen, sen mukaan oliko notkistavaa lisäainetta lisätty betonimassaan. Mittausten jälkeen betonista otettiin lämpötila ja betoni valettiin muotteihin. Muotit tärytettiin By 22:n mukaisesti, minkä jälkeen suoritettiin jälkihoito.

150 · 150 · 150 mm³:n kappaleet siirrettiin valun jälkeen kylmälaukkuun, jossa niiden lämpötilat mitattiin lämpöloggerilla. Lämpötilamittauksen taulukko on liitteessä 1.

Tässä testissä lisäaineina käytettiin Oy Sika Finland Ab:n Sikament EVO -notkistinta ja kompensaatioaineena Sika Contol 50:tä. Sikament EVO on runsaasti veden tarvetta vähentävä betonin ja laastin lisäaine. Sitä käytetään valmisbetonin valmistuksessa, kun betonille halutaan riittävän pitkä työstöaika yhdessä hyvän lujuudenkehityksen kanssa. Sementtinä käytettiin Finnsementin Plussementtiä. (Valmisbetoniteollisuuden lisäaineet, 2012.)

3.4 Olosuhteet

Valun jälkeen koekappaleet suojattiin rakennusmuovilla, joka oli muottien päällä ensimmäiset 24 tuntia. Muotit purettiin, kun koekappaleet olivat yhden vuorokauden ikäisiä. Tämän jälkeen kutistumapalkit vietiin vesihauteeseen, jossa niitä pidettiin ensimmäiset seitsemän vuorokautta, sen jälkeen kappaleet siirrettiin olosuhdekaappiin. Koekuutiot siirrettiin suoraan muottien purkamisen jälkeen vesihauteeseen, jossa niitä pidettiin mittauksen loppuun asti.

3.5 Käytetyt välineet

Olosuhdekaappina toimi Especin vuonna 2004 valmistama kaappi, jonka mallitunnus on PR-4KP. Tässä työssä olosuhdekaapin ominaisuuksista on käytetty vain lämpötilan ja ilmankosteuden seuranta. Tutkimuksessa käytetty kosteus on $RH\ 40 \pm 5\ \%$ ja lämpötila $20\ ^\circ C \pm 0,5\ ^\circ C$. (Thermal shock, 2012.)

Naulalevykoemittarina käytettiin Mitutoyo:n ID- F150 mittaria, jonka tarkkuus on 0.001 mm. (Measuring instruments, 2012.)



Kuva 1. Mitutoyon ID- F150-mittari (Oma kuva)

Mittatappimittarina käytettiin Mitutoyon C112B-mittaria, jonka tarkkuus on 0,001 mm. (Measuring instruments, 2012)



Kuva 2. Mitutoyon C112B-mittari (Oma kuva)

3.6 Testausmenetelmät

Koekappaleiden kutistuma on testattu naulalevykokeen ja mittatappimenetelmän avulla. Kappaleiden lujuudenkehitystä on tutkittu kuormituskehän avulla.

3.6.1 Naulalevykoe

Naulalevykokeessa kutistumaa mitataan naulalevykoekappaleilla. Kappaleiden pituus on noin 1 020 mm ja taipumamittauksen jänneväli 960 mm. Betonin laastikerroksen paksuus on jokaisella koekappaleella vakio. (BY 22, 2010, 8 – 9.)

Muotit on rakennettu filmivanerista, joka on vettä imemätön materiaali. Muotin pohjalle puristetaan naulalevy, joka on varustettu 10 mm:n nauloilla. Naulalevyn pituus on 1 016 mm ja leveys 102 mm. (BY 22, 2010 8 – 9.)

Muotti täytetään tutkittavalla betonilla kahdessa vaiheessa. Ensimmäisellä kerralla muotti täytetään naulojen yläpintaan ja toisella kerralla täyteen. Molemmat betonikerrokset sullotaan huolellisesti, jotta massa saadaan mahdollisimman homogeeniseksi. Betonipinta tasoitetaan muotin reunojen kanssa samaan tasoon ja valun jälkeen betonipinta suojataan huolellisesti rakennusmuovilla. Muotti puretaan yhden päivän ikäisenä ja koekappaleet siirretään olosuhdekaappiin, jossa lämpötila on $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ ja suhteellinen ilmankosteus $\text{RH } 40\% \pm 5\%$. Kappaleita säilytetään olosuhdekaapissa kyljellään. (BY 22, 2010, 8 – 9.)

Koekappaleista mitataan kutistuma mittakellolla, jonka tarkkuus on 1/100 mm. Mittakello on asetettu keskelle mittalaitetta, ja se mittaa jokaisesta naulalevykappaleesta mitan samasta kohdasta. Näin ollen mittaukset ovat verrattavissa toisiinsa. Kutistumaa mitataan koekappaleista yhden ja kahden päivän iässä, minkä jälkeen mittaukset tehdään seitsemän päivän välein. (BY 22, 2010, 8 – 9.)

3.6.2 Mittatappimenetelmä

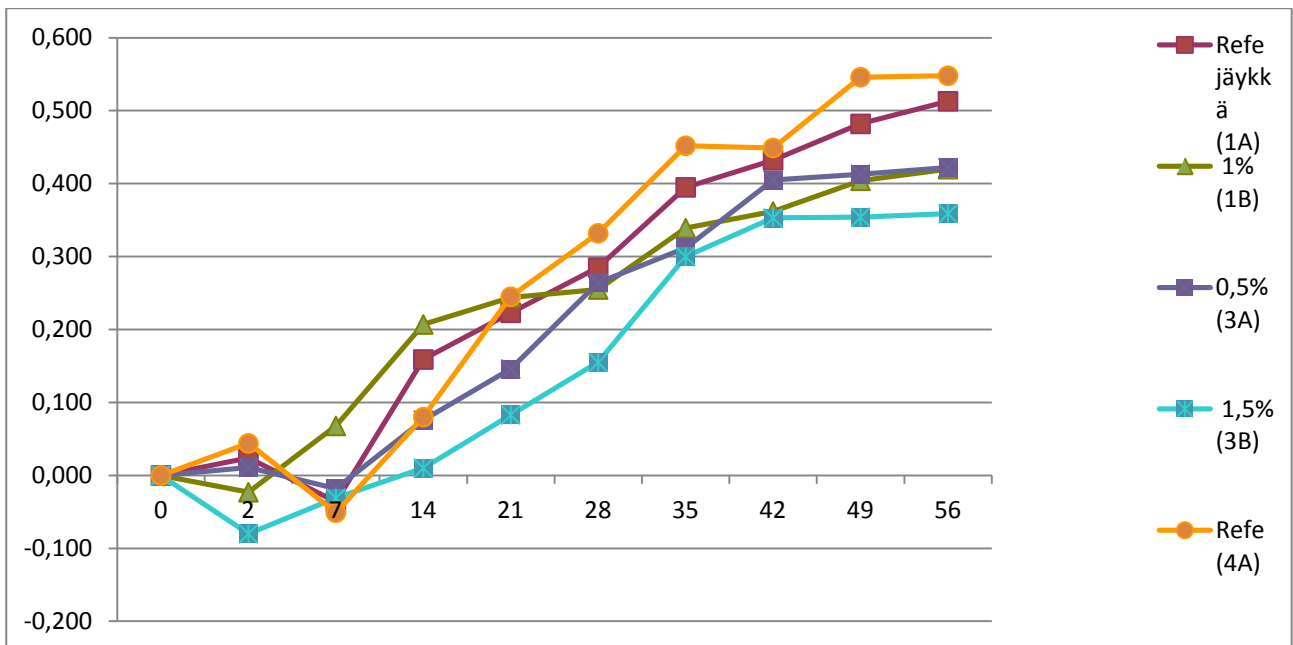
Mittatappimenetelmässä pituudenmuutos mitattiin 0,005mm:n tarkkuudella koekappaleista, joiden mitat ovat 100 mm · 100 mm · 500 mm. Korroosion kestävät mittatappit liimattiin betonipalkkiin kaksikomponenttiliimalla. Jokaisesta reseptistä on tehty kaksi betonipalkkia, jotta tulokset ovat mahdollisimman virheettömiä. Testissä muotit puretaan, kun koekappaleet ovat yhden päivän ikäisiä. Tämän jälkeen koekappaleet vietään vesihauteeseen, jossa veden lämpötila on $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$. Kun kappaleet ovat olleet vesisäilytyksessä seitsemän päivää, ne siirretään olosuhdekaappiin, jossa lämpötila on $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ ja ilman suhteellinen kosteus $\text{RH } 40\% \pm 5\%$. (BL2000, 29.)

Koekappaleiden pituudenmuutokset mitataan yhden ja kahden päivän ikäisinä ja tämän jälkeen viikon välein. Kun lasketaan 7 ja 56 päivän mittausten erotusten d

keskiarvo mm/m saadaan kutistuman arvo. Seitsemän päivän mittaus tehdään siirrettävässä koekappaleita vesihauteesta olosuhdekaappiin. (BL2000, 29.)

5 TULOKSET JA NIIDEN ANALYSOINTI

Koekappaleiden tulokset on koottu omiin diagrammeihinsa, kuvat 3 – 12. Kappaleiden 1A, 1B, 3A, 3B ja 4A lujuudenkehitystä on verrattu keskenään, koska kunkin betonimassan painumat olivat samankaltaiset. Kappaleita 2A, 2B ja 4B on tutkittu myös keskenään, koska näiden kappaleiden leviämät olivat samanlaiset. Koekappaleiden kutistumaa analysoidaan koko mittausajalta, ja tuloksista tehdään johtopäätökset.



Kuva 3. Rakennebetonit

Kuvassa 3 on kuvattu rakennebetonien kutistuma 56 vuorokauden ajalta. Koekappale 1A kutistui ensimmäiset kaksi päivää, jonka jälkeen kappale alkoi paisua seitsemän vuorokauden kohdalle. Tämän jälkeen kappale alkoi kutistua voimakkaasti 14 vuorokauden kohdasta. 14 – 35 vuorokauden välillä kutistuma oli tasaista, minkä jälkeen kappale kutistui enää vähän.

Koekappale 1B paisui ensimmäiset kaksi vuorokautta, jonka jälkeen kappale kutistui voimakkaasti 14 vuorokauteen saakka. 14 vuorokaudesta eteenpäin koekappaleen kutistuma oli rauhallista loppuun asti.

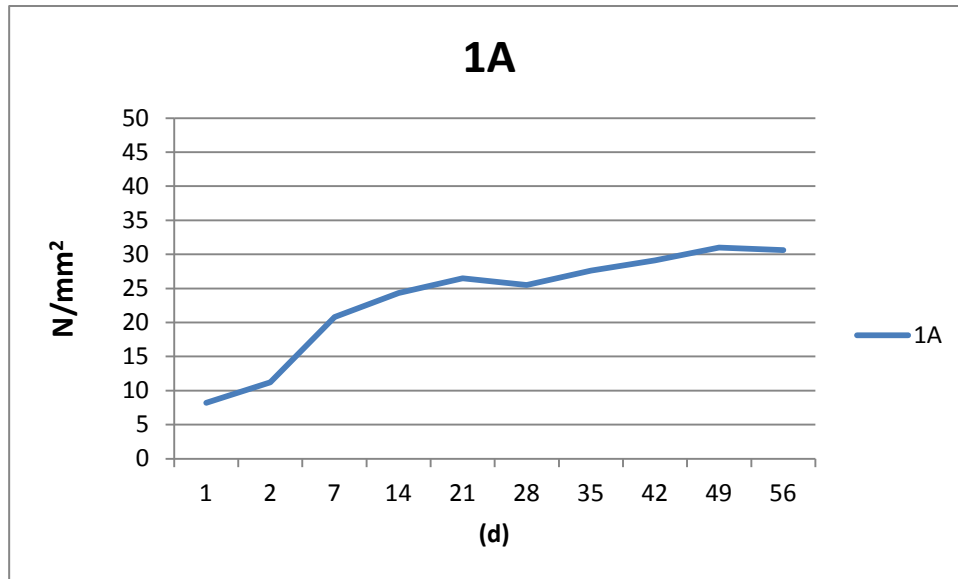
Kappale 3A kutistui ensimmäiset kaksi vuorokautta, jonka jälkeen kappale alkoi paisua seitsemän vuorokauden kohdalle asti. 7 – 42 vuorokauden välillä kutistuma oli tasaista ja pientä, ja sen jälkeen kappale ei kutistunut enää merkittävästi.

Koekappale 3B paisui ensimmäisen kahden vuorokauden aikana noin 0,1 promillea, jonka jälkeen kappale alkoi kutistua tasaisesti 35 vuorokauden ikään asti. 35 vuorokauden jälkeen ei tapahtunut enään merkittävää kutistumista.

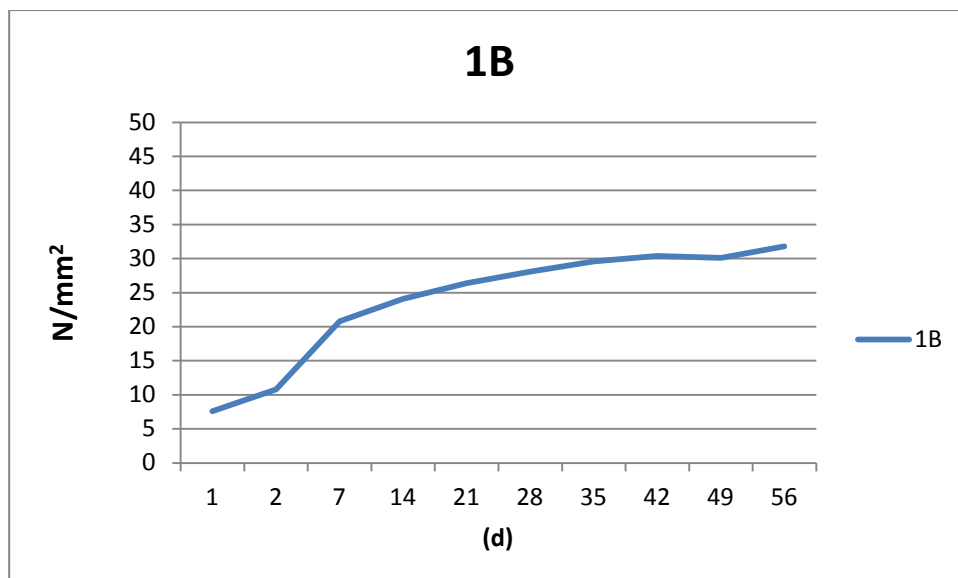
Koekappale 4A kutistui ensimmäiset kaksi vuorokautta, jonka jälkeen kappale paisui seitsemän vuorokauden kohdalle asti. 7 – 35 vuorokauden välillä koekappaleen kutistuma oli nopeaa, mutta sen jälkeen kutistuma tasaantui eikä merkittävää kutistumaa enää tapahtunut.

Koekappaleiden 1B, 3A, ja 3B, joihin on lisätty kutistumakompensaatioainetta, kutistuma oli rauhallisempaa ja lopullinen kutistuma pienempi. Kappaleet 1B ja 3B joihin oli lisätty kutistumakompensaatioainetta 1 – 1,5 %, paisuivat ensimmäiset kaksi vuorokautta, jonka jälkeen niiden kutistuma alkoi.

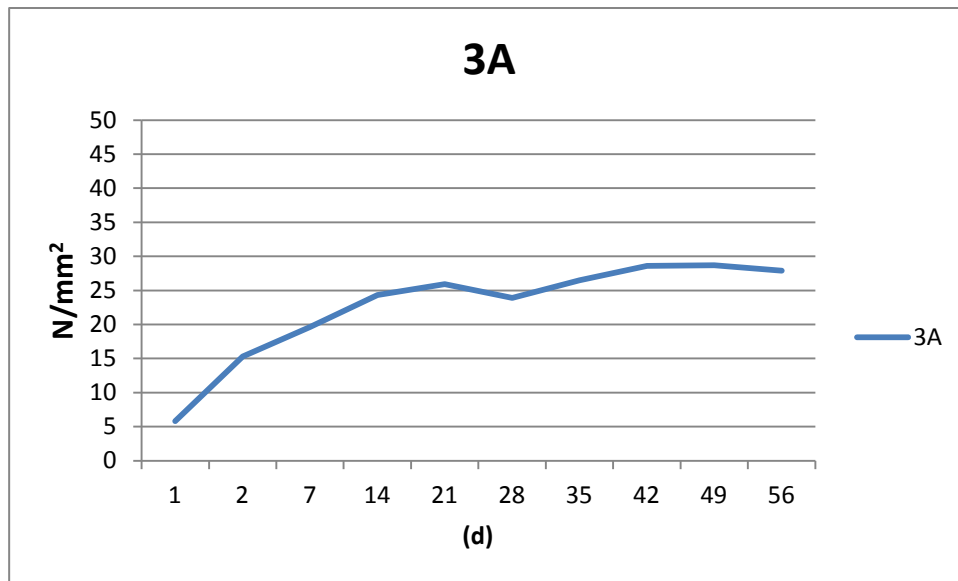
Kappaleet, joihin ei lisätty kutistumakompensaatioainetta, kutistuivat ensimmäiset kaksi vuorokautta, jonka jälkeen ne paisuivat seitsemän vuorokauden ikään asti. Tämän jälkeen kappaleiden kutistuma oli nopeampaa kuin kappaleiden joihin oli lisätty kompensaatioainetta. Lopullinen kutistuma oli myös 0,10 - 0,15 promillea suurempi kuin koekappaleilla, joihin oli lisätty kutistumakompensaatioainetta.



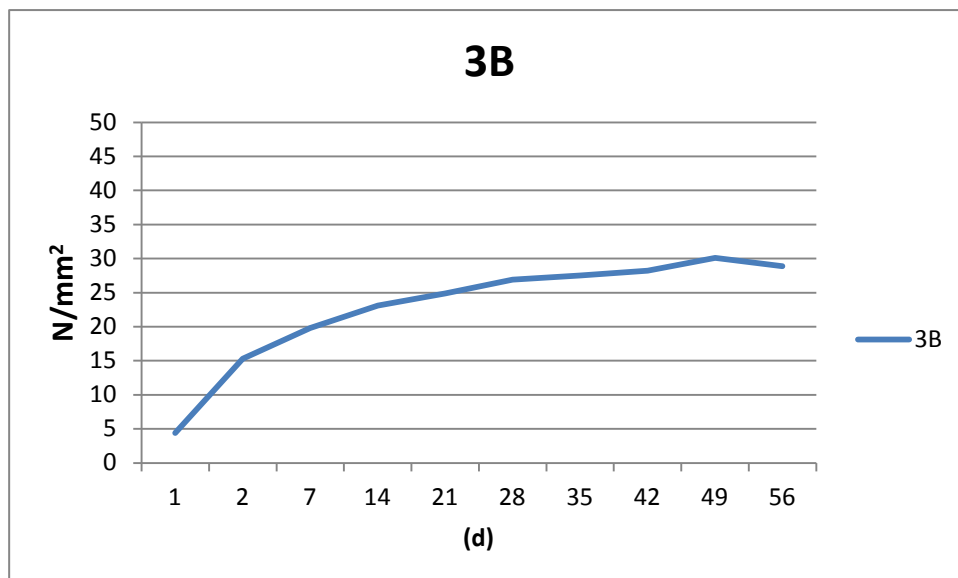
Kuva 4. Lujuudenkehitys kappaleella 1A



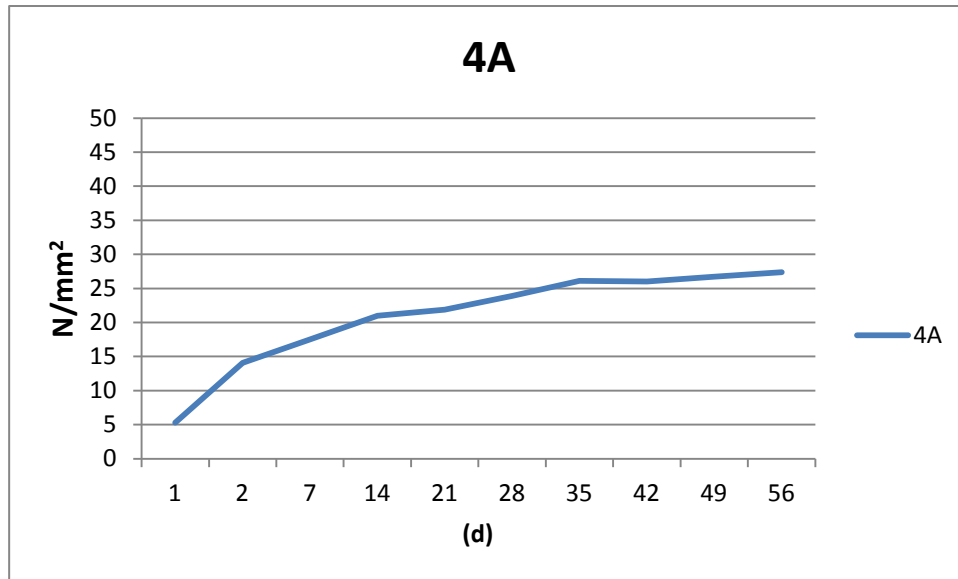
Kuva 5. Lujuudenkehitys kappaleella 1B



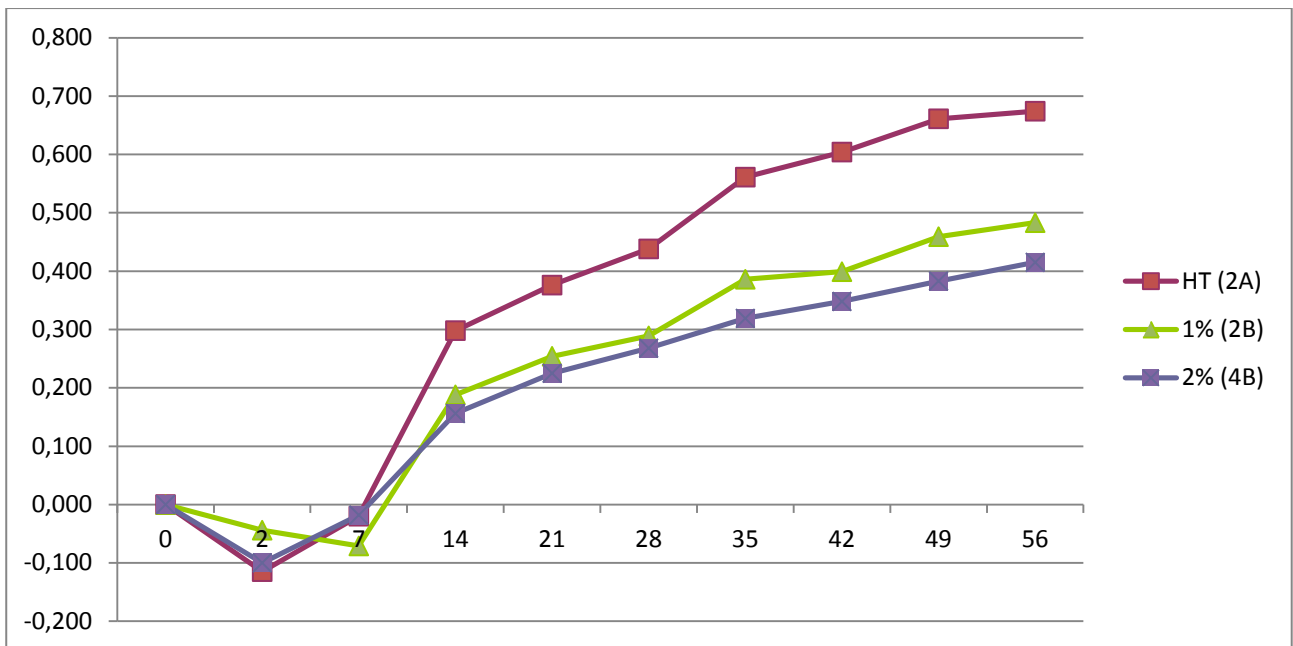
Kuva 6. Lujuudenkehitys kappaleella 3A



Kuva 7. Lujuudenkehitys kappaleella 3B



Kuva 8. Lujuudenkehitys kappaleella 4A



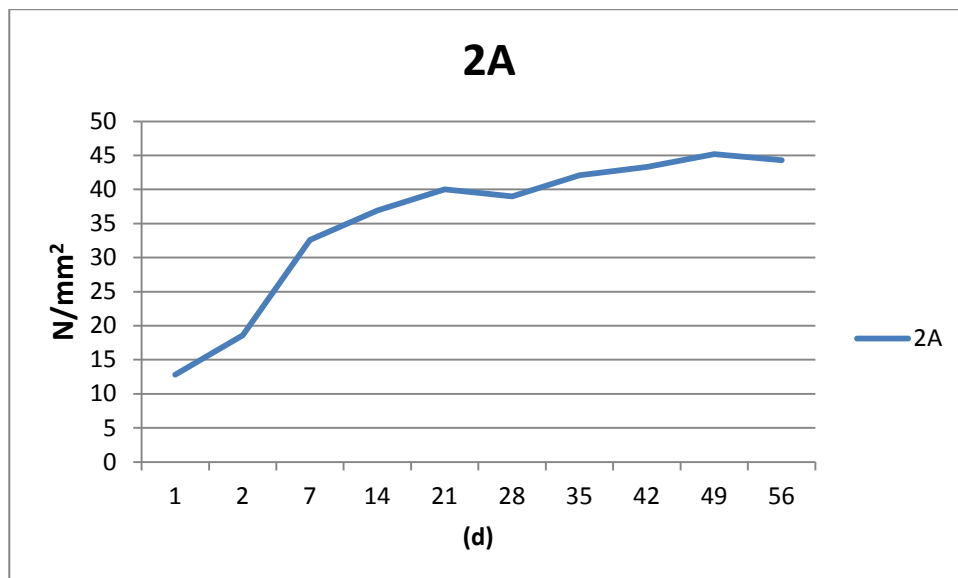
Kuva 9. HT-betonit

Kuvassa 9 on kuvattu helposti tiivistyvän betonin kutistumat 56 vuorokauden ajalta. Koekappale 2A paisui ensimmäiset kaksi vuorokautta, jonka jälkeen se kutistui hitaasti seitsemän vuorokauden ikään asti. Seitsemän vuorokauden jälkeen kappaleen kutistuma oli nopeaa 14 vuorokauden ikään asti, mutta sen jälkeen kutistuma oli tasaisen hidasta 49 vuorokauden ikään asti. Tämän jälkeen kappale ei kutistunut merkittävästi.

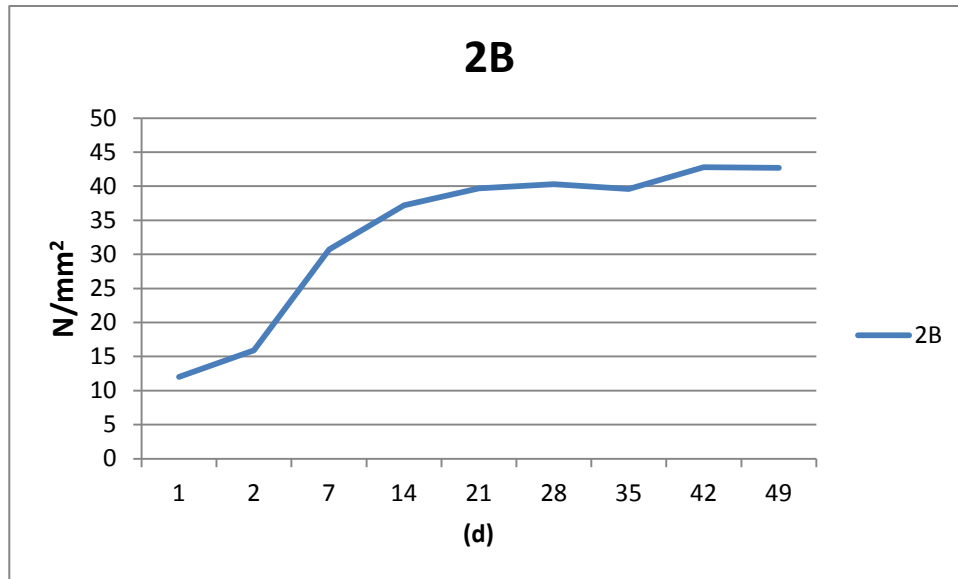
Kappale 2B paisui ensimmäiset seitsemän vuorokautta, jonka jälkeen se kutistui voimakkaasti 14 vuorokauden ikään asti. Tämän jälkeen koekappaleen kutistuma oli tasaista 56 vuorokauden ikään asti.

Koekappale 2A paisui ensimmäiset kaksi vuorokautta, jonka jälkeen kappale aloitti kutistumisen. Kappale kutistui voimakkaammin 14 vuorokauden ikään asti, mutta sen jälkeen kutistuminen oli tasaisen hidasta 56 vuorokauden ikään asti.

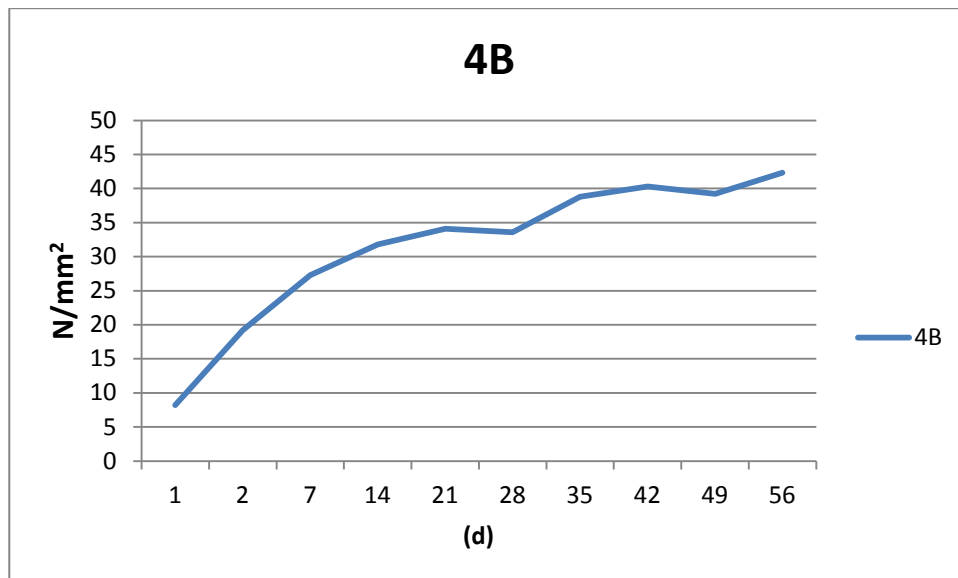
Koekappaleet 2A ja 2B, joihin on lisätty kutistumakompensaatioainetta, kutistuivat vähemmän kuin kappale, johon ei lisätty kompensaatioainetta. Myös lopullinen kutistuma oli 0,20 – 0,40 promillea pienempi kappaleilla, joihin oli lisätty kutistumakompensaatioainetta.



Kuva 10. Lujuudenkehitys kappaleella 2A



Kuva 11. Lujuudenkehitys kappaleella 2B



Kuva 12. Lujuudenkehitys kappaleella 4B

Taulukossa 7 esitetään betonimassoille tehtyt tuoremassa kokeet, joista selviää tuoremassan leviämä ja painuma, sekä massan lämpötila.

	Pvm	Aika	Leviämä/painuma	Lämpötila (°C)
1A	11.1.2012	11.45	130	19,9
1B	11.1.2012	12.30	130	20,0
2A	11.1.2012	13.03	640	19,5
2B	11.1.2012	13.35	660	19,9
3A	12.1.2012	10.10	205	19,8
3B	12.1.2012	10.35	195	19,3
4A	12.1.2012	11.05	215	18,8
4B	12.1.2012	11.30	680	20,2

Taulukko 7. Tuoremassakokeet

6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA PÄÄTELMÄT

Opinnäytetyötä tehdessä eteen tuli sekä haasteellisia että mukavia päiviä. Työni teoriaisuus sopi mielestäni hyvin tämän tyyppisen työn tekemiseen. Teoria-aineistoa oli hyvin saatavilla, vaikka samankaltaisia tutkimuksia olikin tehty hyvin niukasti. Teoriaosuuden tein hyvin itsenäisesti ohjaavan opettajan kommentteja seurailleen ja apua tuli myös toimeksiantajalta kiitettävästi.

Uskon ja toivon, että saamillani mittauksilla on hyötyä toimeksiantajayritykselle, jotta he pystyvät valitsemaan oikean määrän kutistumakompensaatioainetta kuhunkin betonimassaan.

Kutistumakompensaatioaineet ovat hyvä tapa vähentää betonin kokonaiskutistumaa. SRA-aineet vähentävät kuivumiskutistuman lisäksi myös autogeenistä kutistumaa sekä plastista kutistumaa. SRA-aineet pienentävät halkeamien syntymisen riskiä sekä halkeamien syvyyttä ja leveyttä. Kutistumakompensatio aineet vaikuttavat nopeu-

teen, jolla vesi poistuu betonista, ei niinkään betonista poistuvan veden kokonaismäärään.

SRA-aineiden haittapuolena voidaan pitää niiden korkeaa hintaa, minkä vuoksi niitä ei ole kannattavaa käyttää arkipäiväisissä betonivaluissa. On kuitenkin selvää, että kutistumakompensaatioaineiden lisääminen betonimassoihin vähentää valun lopullista kutistumaa, ja myös vähentää halkeilua.

Kutistumakompensaatioaineiden pienentävä vaikutus lopulliseen kutistumaan havaitaan selkeästi kuvista 3. ja 9. Paras annostus kutistumakompensaatioainetta on välillä 1 – 2 %, jossa lopullinen kutistuma on selkeästi pienempi kuin vertailumassoilla.

Kutistumakäyrät olivat vertailubetoneilla lähes samanlaiset, joten betonin lujuudenkehityksen vaikutusta betonin kutistumaan ei tässä tutkimuksessa ole huomioitu.

LÄHTEET

Anttila, V. 2010. Betonin kutistuma ja sen huomioiminen. Rudus Oy:n asiakastiedote 1/2010.

Betoniset säiliörakenteet 2012. Saatavissa www.betoniyhdistys.fi [viitattu 23.1.2012].

BL2000. Betonijulkisivujen materiaali- ja valmistustekniikka, julkisivu 2000. 1998. Betoniyhdistys

BY 201, 2004. Betonitekniikan oppikirja. Suomen betoniyhdistys ry. Jyväskylä: Gummerrus Kirjapaino Oy.

BY 22, 2010. Betoninormien edellyttämiä käyttöselosteita koskevat ohjeet. F. Erikoislaastit ja –betonit. 2010. Suomen betoniyhdistys r.y.

BY50, 2004. Betoninormit. Suomen betoniyhdistys r.y.

Hietala, J. Betonilattioiden kutistuman hallinta. Diplomityö. Aalto yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu. Espoo 2011.

Leivo, M., Holt, E., Kronlöf, A., Söderlund, K. & Vuorinen, P. 2000. Betonin kutistuma. Saatavissa: www.betoni.com [viitattu 2.1.2012].

Measuring instruments 2012. Saatavissa: www.mitutoyo.com [viitattu 8.2.2012].

SFS-EN 1991-1-1 + AC. Eurokoodi 2. Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Rakennusteollisuus RTT ry. 2007.

SFS-käsikirja 156. 2005. Betonin testaus. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

Siikanen, U. 2001. Rakennusaineoppi. 6. painos Hämeenlinna: Karisto Oy.

Thermal shock 2012. Saatavissa: www.espec.com [viitattu 8.2.2012]

Valmisbetoniteollisuuden lisäaineet 2012. Saatavissa: www.sika.com [viitattu 8.2.2012].

Lämpöloggerin antamat koekappaleiden lämpötilat



Page 1/2

Protocol overview

Customer:

Name
Address
<additional
customer data>

System:

Site
Last inspection
<additional
system data>

Measurement

Instrument Testo 175-T3
Serial number C1: SN

\\Kotka-h1\vol3\Doc2\3_Koulutus\BetoniLab\TP\2012\Keskeneräiset\Opinnäytetyö\testo 175-T3.vi2

testo 175-T3	Date	Time	[°C] Anturi 1	[°C] Anturi 2
1	11.1.2012	11:30:13	21,0	25,5
2	11.1.2012	12:30:13	19,7	20,8
3	11.1.2012	13:30:13	20,1	20,0
4	11.1.2012	14:30:13	20,1	20,0
5	11.1.2012	15:30:13	20,0	20,3
6	11.1.2012	16:30:13	19,5	19,9
7	11.1.2012	17:30:13	19,2	19,5
8	11.1.2012	18:30:13	18,9	19,2
9	11.1.2012	19:30:13	18,8	19,0
10	11.1.2012	20:30:13	18,9	19,2
11	11.1.2012	21:30:13	18,8	19,1
12	11.1.2012	22:30:13	18,8	19,1
13	11.1.2012	23:30:13	18,7	19,0
14	12.1.2012	0:30:13	18,6	19,1
15	12.1.2012	1:30:13	19,0	19,4
16	12.1.2012	2:30:13	18,8	19,2
17	12.1.2012	3:30:13	18,7	19,1
18	12.1.2012	4:30:13	18,7	19,0
19	12.1.2012	5:30:13	19,1	19,2
20	12.1.2012	6:30:13	18,8	19,2
21	12.1.2012	7:30:13	19,5	19,5
22	12.1.2012	8:30:13	20,0	19,9
23	12.1.2012	9:30:13	19,9	19,9
24	12.1.2012	10:30:13	20,2	20,5
25	12.1.2012	11:30:13	19,2	425,7
26	12.1.2012	12:30:13	19,5	414,2
27	12.1.2012	13:30:13	19,9	395,6
28	12.1.2012	14:30:13	20,1	378,7
29	12.1.2012	15:30:13	20,5	367,9
30	12.1.2012	16:30:13	21,1	355,5
31	12.1.2012	17:30:13	21,7	322,2
32	12.1.2012	18:30:13	22,3	250,5
33	12.1.2012	19:30:13	22,9	114,5
34	12.1.2012	20:30:13	23,6	Under
35	12.1.2012	21:30:13	24,2	-----
36	12.1.2012	22:30:13	24,7	-----
37	12.1.2012	23:30:13	25,1	-----
38	13.1.2012	0:30:13	25,5	-----
39	13.1.2012	1:30:13	25,8	Under
40	13.1.2012	2:30:13	26,1	-12,8
41	13.1.2012	3:30:13	26,3	-56,7
42	13.1.2012	4:30:13	26,5	Under
43	13.1.2012	5:30:13	26,7	Under
44	13.1.2012	6:30:13	26,8	-----

testo 175-T3	Date	Time	[°C] Anturi 1	[°C] Anturi 2
45	13.1.2012	7:30:13	26,8	-----
46	13.1.2012	8:30:13	26,8	-----
47	13.1.2012	9:30:13	26,7	-----
48	13.1.2012	10:30:13	-----	-----



Protocol overview

Customer:

Name
Address
<additional
customer data>

System:

Site
Last inspection
<additional
system data>

Measurement

Instrument Testo 177-T4
Serial number C1: SN

\\Kotka-h1\vol3\Doc2\3_Koulutus\BetoniLab\TP\2012\Keskeneräiset\Opinnäytetyö\Testo 177-T4.vi2

	Date	Time	[°C] 1	[°C] 2	[°C] 3	[°C] 4
1	11.1.2012	12:01:07	20,1	-----	-----	-----
2	11.1.2012	12:31:07	20,4	-----	-----	-----
3	11.1.2012	13:01:07	20,6	20,3	-----	-----
4	11.1.2012	13:31:07	20,6	20,5	-----	-----
5	11.1.2012	14:01:07	20,7	20,5	-----	20,4
6	11.1.2012	14:31:07	20,8	20,7	19,7	20,6
7	11.1.2012	15:01:07	20,9	20,7	19,9	20,6
8	11.1.2012	15:31:07	21,0	20,8	20,0	20,6
9	11.1.2012	16:01:07	21,2	20,9	20,1	20,7
10	11.1.2012	16:31:07	21,4	20,9	20,2	20,7
11	11.1.2012	17:01:07	21,7	21,2	20,4	20,8
12	11.1.2012	17:31:07	22,0	21,4	20,6	20,9
13	11.1.2012	18:01:07	22,3	21,6	20,8	21,0
14	11.1.2012	18:31:07	22,6	21,9	21,0	21,1
15	11.1.2012	19:01:07	23,0	22,1	21,3	21,3
16	11.1.2012	19:31:07	23,3	22,4	21,6	21,5
17	11.1.2012	20:01:07	23,7	22,7	22,0	21,7
18	11.1.2012	20:31:07	23,9	22,9	22,4	21,9
19	11.1.2012	21:01:07	24,3	23,3	22,8	22,2
20	11.1.2012	21:31:07	24,7	23,6	23,3	22,6
21	11.1.2012	22:01:07	24,9	23,9	23,8	23,0
22	11.1.2012	22:31:07	25,2	24,2	24,3	23,4
23	11.1.2012	23:01:07	25,5	24,5	24,8	23,8
24	11.1.2012	23:31:07	25,8	24,7	25,3	24,2
25	12.1.2012	0:01:07	26,0	25,0	25,8	24,7
26	12.1.2012	0:31:07	26,2	25,2	26,3	25,1
27	12.1.2012	1:01:07	26,5	25,4	26,7	25,5
28	12.1.2012	1:31:07	26,7	25,6	27,1	25,9
29	12.1.2012	2:01:07	26,9	25,8	27,5	26,3
30	12.1.2012	2:31:07	27,0	26,0	27,8	26,6
31	12.1.2012	3:01:07	27,2	26,2	28,2	27,0
32	12.1.2012	3:31:07	27,4	26,3	28,6	27,3
33	12.1.2012	4:01:07	27,5	26,5	29,0	27,6
34	12.1.2012	4:31:07	27,6	26,6	29,3	27,8
35	12.1.2012	5:01:07	27,8	26,7	29,7	28,1
36	12.1.2012	5:31:07	27,8	26,8	30,0	28,4
37	12.1.2012	6:01:07	27,8	26,9	30,2	28,7
38	12.1.2012	6:31:07	27,9	27,1	30,4	29,0
39	12.1.2012	7:01:07	27,8	27,1	30,5	29,2
40	12.1.2012	7:31:07	27,8	27,2	30,6	29,5
41	12.1.2012	8:01:07	27,7	27,2	30,6	29,7
42	12.1.2012	8:31:07	27,6	27,2	30,6	29,9
43	12.1.2012	9:01:07	27,6	27,3	30,6	30,1
44	12.1.2012	9:31:07	27,5	27,3	30,5	30,1